

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
4 novembre 2004 (04.11.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/094931 A2**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **F27B 9/00**

Alain [FR/FR]; 84 Rue Racine, F-69100 Villeurbanne (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/TR2004/000866

(74) Mandataires : **MICHARDIERE, Bernard** etc.; Cabinet Armengaud Aine, 3, Avenue Bugeaud, F-75116 Paris (FR).

(22) Date de dépôt international : 7 avril 2004 (07.04.2004)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
03/04877 18 avril 2003 (18.04.2003) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **STEIN HEURTEY** [FR/FR]; Z.A.I. du Bois de l'Épine, F-91130 Ris-Orangis (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **MOREL,**

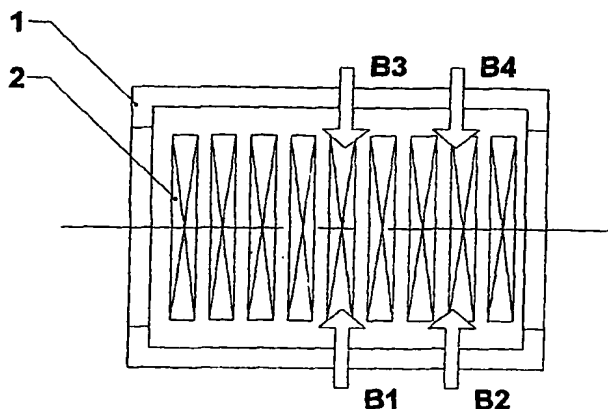
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING THE HOMOGENEITY OF THE TEMPERATURE OF PRODUCTS IN A METALLURGICAL REHEATING FURNACE, AND REHEATING FURNACE

(54) Titre : PROCÉDE DE CONTRÔLE DE L'HOMOGENEITE DE TEMPERATURE DES PRODUITS DANS UN FOUR DE RECHAUFFAGE DE SIDERURGIE, ET FOUR DE RECHAUFFAGE.



(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling the homogeneity of the temperature of metallurgical products (B) in a reheating furnace (5) fitted with lateral burners. According to said method, the lateral burners are operated by on/off control, and the operating time and the down time of each burner is regulated in order to obtain the desired temperature. Inshot burners (1-4) are used as the lateral burners. Said burners are operated either at a speed which is close to the maximum speed or at the maximum speed, and the ignition order of the burners (1-4) is selected in such a way as to stimulate the stirring and circulation of the fumes in order to reduce the hot spot of the flame and to improve the homogeneity of the temperature of the walls of the furnace and the products.

(57) Abrégé : Procédé de contrôle de l'homogénéité de température de produits sidérurgiques (B) dans un four de réchauffage (5) équipé de brûleurs latéraux sur chacun de deux côtés opposés, parallèles à la direction de déplacement (D) des produits dans le four, procédé selon lequel on fait fonctionner les brûleurs latéraux en tout ou rien, et on règle le temps de fonctionnement et d'arrêt de chaque brûleur pour obtenir la température souhaitée. On choisit comme brûleurs latéraux des brûleurs à flamme étalée (1-4); on fait fonctionner ces brûleurs à un régime proche du régime maximum ou au régime maximum, et l'ordre d'allumage des brûleurs (1-4) est choisi pour favoriser le brassage et la circulation des fumées afin de réduire le point chaud de la flamme pour obtenir une meilleure homogénéité de température des parois du four et des produits.

WO 2004/094931 A2



IIU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),  
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrévia-  
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et  
abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de  
la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée  
dès réception de ce rapport*

PROCEDE DE CONTROLE DE L'HOMOGENEITE DE TEMPERATURE DES PRODUITS DANS UN FOUR DE RECHAUFFAGE DE SIDERURGIE, ET FOUR DE RECHAUFFAGE.

L'invention est relative à un procédé de contrôle de l'homogénéité de température de produits sidérurgiques, notamment de brames ou de billettes, dans un four de réchauffage équipé de brûleurs latéraux.

5 Les fours de réchauffage sidérurgiques ont pour fonction de porter les produits à une température de laminage donnée, avec une bonne homogénéité de température en tous points du produit.

10 Le chauffage des fours est traditionnellement obtenu par des brûleurs alimentés en air et combustible fossile et disposés sur les parois du four. Les brûleurs se caractérisent par leur puissance et la forme de leur flamme pour différents régimes de marche qui dépendent de leur conception et des pressions et débits de combustible  
15 et comburant. Cette flamme présente généralement un profil thermique caractéristique avec la présence d'un point chaud où est concentrée une part importante du dégagement d'énergie et de rayonnement. Le contrôle de la position du point chaud de la flamme n'est pas simple car  
20 cette position est variable et dépend du régime du brûleur lui même dépendant de la demande thermique du four.

Le profil thermique des flammes produites par les brûleurs a une influence directe sur la répartition de  
25 température des parois du four et des produits situés à leur proximité qui reproduisent plus ou moins directement la même allure de distribution des températures suivant la position du point chaud de la flamme.

Les différences de température sur le produit  
30 seront d'autant plus grandes que le point chaud de la flamme du brûleur est concentré et que sa température est importante par rapport à celle de la surface du produit.

Des différences de température seront également créées sur le produit s'il existe des obstacles au rayonnement entre le point chaud de la flamme et le produit, par exemple provoqués par un support de produit créant un effet d'ombre.

Les produits, s'ils sont exposés à un rayonnement important, ont également tendance à être plus chauds à leurs extrémités car, outre leurs deux faces principales (supérieure et inférieure), leurs extrémités sont également exposées au rayonnement des flammes ou des parois. Ce phénomène est accentué par l'influence du point chaud de la flamme sur la paroi latérale du four qui participe à la surchauffe des extrémités du produit.

Les produits les plus minces placés entre des lots de produits épais et exposés à un régime thermique identique seront également surchauffés et inversement.

Pour compenser ces imperfections des moyens de chauffage, on constate généralement qu'en sortie du four, les produits sont réchauffés à une température supérieure de plusieurs dizaines de degrés à la température de laminage idéale afin de garantir que tous leurs points soient situés au-dessus de cette température. Les hétérogénéités de température, et en particulier les points froids, produiront cependant des efforts importants dans les cages du laminoir et des variations d'épaisseur ou de forme perceptibles dans le produit fini.

La réduction des différences de température dans les produits réchauffés dans les fours a toujours été une préoccupation importante des utilisateurs et constructeurs de fours et menée suivant plusieurs axes, par exemple :

- une meilleure localisation des brûleurs dans le four et/ou une augmentation de leur nombre avec une puissance unitaire plus faible,

- une gestion améliorée des brûleurs avec modulation de la position de leur point chaud et du temps durant lequel le brûleur est utilisé.

En particulier, d'après FR-A- 2 794 132 (99  
5 06725) il est connu de faire fonctionner les brûleurs latéraux en tout ou rien, et de régler le temps de fonctionnement et d'arrêt de chaque brûleur pour obtenir la température souhaitée .

Selon cet état de la technique, on gère le  
10 chauffage dans les produits en maîtrisant la position du point chaud en utilisant localement le rayonnement des flammes et des fumées de combustion et en tenant compte des particularités et des imperfections de leur distribution. La recherche d'un produit homogène en  
15 température en sortie du four de réchauffage s'est développée essentiellement en tenant compte des imperfections des répartitions de température dans les flammes des brûleurs et en essayant d'y apporter une réponse par des moyens pour positionner correctement  
20 l'énergie de chauffage sur un lit de produits.

La gestion des surchauffes locales selon FR-A- 2 794 132 est efficace mais présente des limites car elle conduit à une complexité croissante des brûleurs et des équipements de contrôle / commande du four pour  
25 obtenir, avec un algorithme de calculateur, une gestion séparée de la position des points chauds des brûleurs en fonction des positions des produits et des mesures de températures réalisées en sortie du four.

En outre, malgré la complexité du contrôle de  
30 la carte thermique du four, on constate qu'il subsiste une hétérogénéité résiduelle, faible mais significative, liée à la différence de température élevée entre le point chaud de la flamme et les produits et les parois du four ainsi que liée aux effets d'ombre importants, ceci pour  
35 chaque régime de fonctionnement du brûleur. Ces hétérogénéités se matérialisent par des différences de

température entre les extrémités du produit et son centre ainsi que par la présence de points froids situés sur les produits au niveau de leurs appuis sur les supports situés dans le four.

- 5 US-A-4 281 984 propose un allumage alterné des brûleurs et des modifications des débits de comburant et/ou de combustible, ce qui conduit à des modifications du régime de fonctionnement des brûleurs. Ceci n'est pas favorable à un bon rendement du brûleur, ni à une
- 10 température homogène.

- L'invention a pour but de fournir un procédé qui, tout en restant relativement simple et économique à mettre en œuvre, assure une meilleure homogénéité de température des produits réchauffés dans les fours de
- 15 sidérurgie afin de limiter les apparitions de défauts des opérations de laminage.

- Selon l'invention, un procédé de contrôle de l'homogénéité de température de produits sidérurgiques, notamment de brames ou de billettes, dans un four de réchauffage équipé de brûleurs latéraux sur chacun de
- 20 deux côtés opposés, parallèles à la direction de déplacement des produits dans le four, procédé selon lequel on fait fonctionner les brûleurs latéraux en tout ou rien, et on règle le temps de fonctionnement et
- 25 d'arrêt de chaque brûleur pour obtenir la température souhaitée, est caractérisé en ce que l'on choisit comme brûleurs latéraux des brûleurs à flamme étalée, que l'on fait fonctionner ces brûleurs à un régime proche du régime maximum ou au régime maximum, et que l'ordre
- 30 d'allumage des brûleurs est choisi pour favoriser le brassage et la circulation des fumées afin de réduire le point chaud de la flamme et pour obtenir une meilleure homogénéité de température des parois du four et des produits.

- 35 Des brûleurs à flamme étalée pouvant convenir sont décrits dans FR-A -2 784 449 (98 12824).

Grâce à la mise en œuvre particulière de brûleurs à flamme étalée fonctionnant en « tout ou rien » et utilisés de façon à réduire au maximum la présence de points chauds dans la flamme et les fumées développées dans l'enceinte du four, l'homogénéité de température des produits réchauffés est améliorée. L'uniformisation des températures des fumées et des parois du four réduit sensiblement les inconvénients inhérents à la présence des points chauds dans les flammes des fours réalisés suivant l'état de la technique.

Avantageusement, on prévoit d'équiper le four d'au moins deux brûleurs sur chacun de ses murs latéraux, et l'ordre d'allumage de ces brûleurs est prévu pour favoriser le brassage et la circulation des fumées.

De préférence, on commande la modification des circulations des fumées dans l'enceinte dudit four par un calculateur utilisant des algorithmes mathématiques de contrôle en fonction d'un objectif thermique sur le produit.

On peut faire contrôler par le calculateur la distribution thermique, en particulier la courbe longitudinale et/ou transversale, de température du four, en fonction de la position de la charge, de ses caractéristiques et de son avancement sur la longueur du four et de l'objectif de température et de répartition de température de sortie visé pour ce produit.

On peut faire contrôler par le calculateur l'ordre d'allumage des brûleurs et l'instant où ces brûleurs sont allumés afin de réduire les variations de pression à l'intérieur du four et dans les circuits d'alimentation des brûleurs en carburant et en comburant.

On peut faire contrôler par le calculateur la distribution thermique de température dans le four en fonction d'un programme de fabrication à venir à l'enfournement et d'un programme de laminage en sortie,

pour optimiser les caractéristiques de chauffage des produits.

Le réglage de la répartition de puissance injectée dans l'enceinte peut être réalisé de façon à  
5 privilégier la récupération d'énergie dans la zone d'entrée du four.

La répartition de puissance thermique injectée suivant la direction longitudinale et transversale du four peut être déduite de mesures opérées durant  
10 l'opération de laminage.

Le profil thermique du four et le profil thermique longitudinal du produit délivré par le four peuvent être calculés automatiquement par un ordinateur utilisant des modèles mathématiques, des systèmes de  
15 logique floue ou des algorithmes de type neuro-prédictifs ou autres.

L'invention est également relative à un four de réchauffage de produits sidérurgiques, notamment de brames ou de billettes, équipé de brûleurs latéraux et  
20 comprenant des moyens de commande pour faire fonctionner les brûleurs latéraux en tout ou rien, et pour régler le temps de fonctionnement et d'arrêt de chaque brûleur en vue d'obtenir la température souhaitée, caractérisé en ce que les brûleurs latéraux sont des brûleurs à flamme  
25 étalée, que ces brûleurs sont commandés de manière à fonctionner à un régime proche du régime maximum ou au régime maximum, et suivant un ordre d'allumage propre à favoriser le brassage et la circulation des fumées afin de réduire le point chaud de la flamme, les variations de  
30 pression dans le four et les circuits d'alimentation des brûleurs et pour obtenir une meilleure homogénéité de température des parois du four et des produits.

L'invention consiste, mises à part les dispositions exposées ci-dessus, en un certain nombre  
35 d'autres dispositions dont il sera plus explicitement question à propos d'exemples de réalisation décrits en

détail avec référence aux dessins annexés, mais qui ne sont nullement limitatifs. Sur ces dessins :

Fig.1 est une coupe en élévation d'un four de réchauffage de produits sidérurgiques suivant l'invention.

Fig.2 est une vue schématique d'un brûleur à flamme étalée.

Fig.3 est un diagramme représentant schématiquement la distribution suivant plusieurs régimes de fonctionnement du flux thermique d'un brûleur à flamme étalée 5 dans un plan transversal du four, la variation du flux thermique est portée en ordonnée, en abscisse est portée la distance du mur latéral du four supportant le brûleur.

Fig.4 est une coupe en plan schématique et partielle d'un four selon l'invention avec une paire de brûleurs implantés sur chacun de ses murs latéraux.

Fig. 5 est un diagramme illustrant un exemple d'ordre d'allumage des brûleurs du four dans un cycle d'allumage.

Fig.6 à 8 sont des diagrammes illustrant, semblablement à Fig.5, d'autres exemples d'ordres d'allumage des brûleurs.

En se reportant à la Fig. 1. on peut voir de façon schématique un four de réchauffage composé d'une enceinte isolée 1, les produits sidérurgiques 2 à réchauffer sont supportés à l'intérieur du four par 3 et déplacés par un mécanisme 4, de la droite de la figure vers la gauche. Des brûleurs à flamme étalée 5 sont implantés sur les parois latérales du four, au dessus et au dessous du lit des produits 2.

La figure 2 présente schématiquement un brûleur à flamme étalée muni d'un tunnel de combustion 6 présentant une forme élargie avec L égal au moins à 1,3 fois H et des orifices d'injection de carburant 8 et de comburant 7 sensiblement parallèles au grand axe de

symétrie du tunnel PS et parallèles au plan P des produits situés dans le four. L'orientation des orifices d'injection de carburant et de comburant est choisie de façon à créer une différence de répartition des produits  
5 de combustion et des fumées recyclées afin d'obtenir une flamme étalée assurant une répartition homogène du flux thermique.

En se reportant à Fig.4 on peut voir de façon schématique un exemple de four suivant l'invention  
10 présenté en vue en plan et en coupe. Ce four est équipé de quatre brûleurs à flamme étalée B1 à B4 équipant un four 1. Les produits sidérurgiques à réchauffer 2 sont supportés et déplacés de la gauche vers la droite de la figure. De chaque côté du four sur les parois latérales,  
15 au moins quatre brûleurs B1, B2, B3 et B4 sont prévus au-dessus et au dessous du plan P des produits. Les brûleurs B1 et B3 sont respectivement en amont des brûleurs B2 et B4 suivant la direction de déplacement des produits dans le four. Les brûleurs B1 et B3, ainsi que les brûleurs B2  
20 et B4 sont implantés face à face.

De tels brûleurs à flamme étalée sont enseignés par FR-A-2 784 449 dont la description est incorporée, par référence, à la présente description.

Un brûleur à flamme étalée, de par sa conception,  
25 est prévu pour produire une flamme étalée pour tous les régimes de fonctionnement, mais dans des conditions qui peuvent varier.

Fig. 3 présente, par exemple pour le brûleur 5 vu dans un plan transversal du four, la distribution de l'énergie ou du flux thermique en kW portée en ordonnée  
30 en fonction de la distance de la paroi latérale du four 1 dans laquelle est implanté ce brûleur présentée en abscisse. Les courbes C1, C2 et C3 présentent la répartition du flux thermique de ce brûleur pour  
35 différents régimes de marche. La courbe C1 présente le fonctionnement du brûleur à bas régime, la courbe C2 pour

un régime intermédiaire et la courbe C3 pour le régime maximum ou plein feu.

On constate qu'en fonction du régime de marche, l'étalement de la flamme, suivant la largeur du four 5, est meilleur pour les régimes proches du maximum suivant la courbe C3. Fig.3 montre, qu'à bas régime, le point chaud du brûleur est situé près de la paroi du four qui sera surchauffée, entraînant la surchauffe des extrémités des produits avec, en sortie du four, le profil thermique 10 du produit caractéristique avec des extrémités plus chaudes que le centre.

Selon l'invention, on fait fonctionner les brûleurs à flamme étalée B1-B4 près de, ou à, leur régime maximum, en tout ou rien, et suivant un ordre d'allumage 15 propre à favoriser le brassage et la circulation des fumées afin de réduire le point chaud de la flamme et pour obtenir une meilleure homogénéité de température des parois du four et des produits.

Ceci permet d'améliorer la répartition de 20 l'énergie thermique. L'optimisation de la technologie du brûleur pour un régime de fonctionnement unique proche du maximum permet de réduire les émissions de polluants dans les gaz de combustion produits.

Le fonctionnement à plein régime des brûleurs 25 avec des vitesses de gaz à l'ouvrage très importantes permet de mieux répartir l'énergie thermique sur toute la surface de la flamme, de brasser et de faire circuler les fumées dans l'enceinte du four. Il en résulte globalement une réduction supplémentaire du point chaud de la flamme 30 au profit d'une meilleure répartition de l'énergie thermique sur les parois et sur les produits.

La réduction du point chaud de la flamme, le brassage et la circulation des fumées dans le four provoqués par le cycle de fonctionnement « tout ou rien » 35 des brûleurs, permettent l'homogénéisation du rayonnement de l'ensemble de la masse des fumées qui produit un

échange de chaleur homogène des parois du four et des produits. Les effets d'ombre provoqués par exemple par les supports 3 sur la face inférieure des produits 2 sont également fortement réduits grâce à l'uniformisation des températures des fumées et des parois du four qui égalisent la transmission de chaleur sur la surface du produit mais aussi sur les supports eux-mêmes qui sont sur toute leur surface à la température des parois. Le résultat est un produit défourné avec une meilleure homogénéité de température qui autorise une meilleure qualité de laminage à une température de laminage plus basse, donc la réalisation d'un produit fini de meilleures caractéristiques métallurgiques et dimensionnelles .

Un premier exemple d'ordre d'allumage des brûleurs B1 à B4 est fourni par la séquence présentée sur Fig. 5. On a représenté pour chaque brûleur le temps en abscisse et, en ordonnée, l'état de marche correspondant à un niveau d'ordonnée non nulle symbolique, et l'état d'arrêt correspondant à une ordonnée nulle. Le fonctionnement correspond donc à un créneau dont la longueur représente la durée à un régime proche du maximum ; le non-fonctionnement ou arrêt du brûleur correspond à une plage d'ordonnée nulle. Pour un temps « T » de cycle d'allumage des brûleurs, la durée « t » de fonctionnement de chaque brûleur est une fraction du temps correspondant, pour un instant donné, à une fraction de la puissance totale installée dans la zone du four et nécessaire aux besoins de chauffage de la charge présente dans cette zone. Selon Fig.5, les durées de fonctionnement de chaque brûleur sont les mêmes.

L'ordre de fonctionnement (Fig.5) des brûleurs pour un cycle est le suivant : B1, B4, B2, B3 . Avec la disposition de Fig. 4, le fonctionnement simultané ou successif des brûleurs B1 et B4 provoque une rotation des fumées suivant le sens horaire ; puis le fonctionnement

simultané ou successif des brûleurs B2 et B3 provoque une rotation des fumées suivant le sens anti-horaire.

L'allumage alterné des brûleurs B1 et B2, puis B3 et B4 permet d'alterner le sens de circulation des fumées à l'intérieur du four dans la zone correspondante.

Fig. 6 présente un autre exemple d'ordre et de durée d'allumage des brûleurs B1 à B4 du four de Fig.4 . Les brûleurs B1 et B3 fonctionnent simultanément , de même que les brûleurs B2 et B4. Ces deux paires de brûleurs fonctionnent en alternance. En outre, les brûleurs B2 et B4 fonctionnent durant un temps « t2 » supérieur au temps « t1 » de fonctionnement des brûleurs B1 et B4 ce qui permet d'injecter plus d'énergie thermique dans la zone du four qui correspond aux brûleurs B2 et B4 pour adapter la puissance thermique injectée au besoin de la charge présente dans cette partie du four.

Fig. 7 présente un autre exemple d'ordre et de durée d'allumage des brûleurs pour lequel chaque brûleur fonctionne durant un temps donné (B1, t3), (B2, t4), (B3, t5) et (B4, t6) correspondant à la demande thermique correspondant à la partie du four en regard de chacun des brûleurs. On voit sur cette figure que, pour l'instant noté « ts », trois brûleurs sont en fonctionnement alors que pour l'instant noté « tr », aucun brûleur ne fonctionne. On comprend que le fonctionnement du four selon ce mode va entraîner des variations importantes des niveaux de pression dans le four et dans les circuits d'alimentation en carburant et en comburant des brûleurs entre les instants ts et tr et, plus généralement lors des allumages et extinctions des brûleurs.

Fig. 8 présente un arrangement différent des allumages des brûleurs B1 à B4 pour des durées respectives t3 à t6 identiques à celles du cas de marche du four défini sur la Fig. 7. On voit sur cette figure que, au maximum, deux brûleurs sont allumés simultanément

et que, à aucun moment, les brûleurs sont tous éteints. On comprend que pour cette figure, les variations de pression dans le four et dans les circuits d'alimentation des brûleur seront beaucoup plus faibles que pour le cas  
5 de marche décrit par la figure 7.

Il est clair que de nombreux ordres d'allumage sont utilisables pour modifier le brassage des fumées dans le four et/ou la répartition de la puissance thermique dans le four et/ou limiter les variations de la  
10 pression du four ou des pressions des circuits d'alimentation en carburant et comburant des brûleurs. Ce principe est transposable à des fours de dimensions importantes, équipés d'un nombre de brûleurs plus important que celui retenu pour l'exemple. Les principes  
15 d'allumage des brûleurs peuvent également être adaptés pour les brûleurs situés au dessus et en dessous du plan P des produits.

Le même principe d'ajustement des durées de fonctionnement de chaque brûleur équipant le four en  
20 fonction de sa position permet de contrôler la carte des températures dans le four en fonction des caractéristiques locales de la charge dans le four ou des caractéristiques thermiques du produit à défourner.

En particulier, le réglage de la répartition de  
25 puissance injectée dans l'enceinte du four est réalisé de façon à privilégier la récupération d'énergie dans la zone d'entrée du four en allumant de façon prioritaire les brûleurs situés en sortie du four pour allonger ainsi la zone de récupération de chaleur située en entrée du  
30 four.

Le contrôle de la carte des températures et de la répartition de la puissance thermique dans le four permet le suivi du chauffage d'un produit particulier ou de l'ensemble des produits contenus dans le four durant la  
35 totalité de leur temps de séjour dans le four.

Un fonctionnement combiné de l'ensemble des brûleurs du four durant un temps défini par les besoins énergétiques des produits (calculateur ou régulateurs) permet de répartir de façon adaptée la charge thermique dans le four grâce à la technologie des brûleurs à flamme étalée utilisés en tout ou rien et au brassage des gaz de combustion obtenu par le contrôle de l'ordre d'allumage de ces brûleurs.

Un fonctionnement combiné de l'ensemble des brûleurs du four durant un temps défini par les besoins énergétiques des produits et un allumage de ces brûleurs suivant une séquence définie (calculateur ou régulateurs) permet de réduire les variations de pression dans le four et dans les circuits d'alimentation en carburant et en comburant des brûleurs.

Le four 1 comporte de préférence un calculateur utilisant des algorithmes mathématiques de contrôle en fonction d'un objectif thermique sur le produit pour commander l'ordre et la durée d'allumage de chaque brûleur et assurer la modification des circulations des fumées dans l'enceinte dudit four.

Les capteurs équipant le four 1 donnent au calculateur des informations lui permettant de contrôler la distribution thermique, en particulier la courbe longitudinale et/ou transversale de température du four, en fonction de la position de la charge des produits, de ses caractéristiques et de son avancement sur la longueur du four et de l'objectif de température et de répartition de température de sortie visé pour ce produit.

Le calculateur comporte des moyens pour entrer des données afin de lui faire contrôler la distribution thermique de température dans le four en fonction d'un programme de fabrication à venir à l'enfournement, et d'un programme de laminage en sortie, pour optimiser les caractéristiques de chauffage des produits.

Des informations telles que la température ou la répartition de température dans le produit et issues des équipements de laminage peuvent être introduites dans le calculateur de conduite du four pour en déduire la répartition de puissance thermique à injecter suivant la direction longitudinale et transversale du four afin d'améliorer l'homogénéité de température des produits à défourner.

Le calculateur peut utiliser pour son fonctionnement des modèles mathématiques, des systèmes de logique floue ou des algorithmes de type neuro-prédictifs pour calculer (déterminer) le profil thermique du four et le profil thermique longitudinal du produit à délivrer par le four.

L'invention apporte les avantages énumérés ci-après.

Les brûleurs fonctionnent à régime fixe, d'où une optimisation de la répartition de l'énergie thermique sur toute la surface de la flamme « étalée » et un meilleur brassage des fumées dans le four. Les flammes produites n'ont plus de point chaud, ou ont un point chaud moins marqué, de sorte que l'on évite un rayonnement concentré générant des différences de température sur les parois du four et sur les produits ou des effets d'ombre sur les produits. Le régime fixe permet également une optimisation des rejets de polluants (par exemple NOx, CO, CO<sub>2</sub>), de la teneur en oxygène dans le four, donc réduction de l'oxydation de surface des produits et de la « perte au feu ».

Le brassage des gaz dans le four entraîne une réduction des différences de température entre les fumées, les parois, les supports de produits et les produits dans le four, ce qui permet d'obtenir un produit plus homogène en température.

La réduction des points chauds de la flamme et l'égalisation des températures de fumées et de parois

permettent de limiter les effets d'ombre des supports sur les produits et permettent aussi d'égaliser la température de ces supports (suppression de l'effet « une face chaude / une face froide »), donc entraînent une  
5 réduction importante des traces noires sur les produits.

L'égalisation de température des fumées dans le four permet de réduire la surchauffe des murs du four ainsi que l'influence de ces murs sur les extrémités du produit avec pour conséquence la réduction de l'effet  
10 « tête et queue chaudes » caractéristique des fours suivant l'état de la technique.

La répartition uniforme des flux thermiques dans le four réduit les contraintes de positionnement des produits dans le four. La charge du four peut donc être  
15 placée plus librement, par exemple en fonction seulement des efforts mécaniques repris par les supports.

La réduction des variations de pression dans le four limite les entrées d'air parasite ce qui provoque la réduction de l'oxydation de la surface des produits et la  
20 « perte au feu ».

La meilleure homogénéité des produits permet de réduire les surchauffes de sécurité utilisées fréquemment dans les fours classiques pour tenir compte des hétérogénéités de température des produits . La  
25 consommation d'énergie du four est donc réduite selon l'invention.

L'optimisation de la longueur chaude active du four, c'est à dire pour laquelle les brûleurs sont en fonctionnement, permet d'augmenter la longueur de la zone  
30 de récupération et ainsi de réduire la consommation du four.

## REVENDECATIONS

1 . Procédé de contrôle de l'homogénéité de température  
5 de produits sidérurgiques (2), notamment de brames ou de  
billettes, dans un four de réchauffage (1) équipé de  
brûleurs latéraux, procédé selon lequel on fait  
fonctionner les brûleurs latéraux en tout ou rien, et on  
règle le temps de fonctionnement et d'arrêt de chaque  
10 brûleur pour obtenir la température souhaitée ,  
caractérisé en ce que l'on choisit comme brûleurs  
latéraux des brûleurs à flamme étalée (B1-B4), que l'on  
fait fonctionner ces brûleurs à un régime proche du  
régime maximum ou au régime maximum, et que l'ordre  
15 d'allumage des brûleurs(B1-B4) est choisi pour favoriser  
le brassage et la circulation des fumées afin de réduire  
le point chaud de la flamme et pour obtenir une meilleure  
homogénéité de température des parois du four et des  
produits.

20

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce  
que l'on prévoit sur chacune des parois latérales du four  
au moins deux brûleurs (B1, B2) et (B3, B4), et que  
l'ordre d'allumage des brûleurs (B1, B2 ; B3, B4) est  
25 prévu pour favoriser le brassage et la circulation des  
fumées dans le four.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce  
que l'on prévoit sur chacune des parois latérales du four  
30 au moins deux brûleurs (B1, B2) et (B3, B4), et que  
l'ordre d'allumage des brûleurs (B1, B2 ; B3, B4) est  
choisi de façon à réduire les variations de pression dans  
le four et dans les circuits d'alimentation en carburant  
et comburant des brûleurs.

35

4 . Procédé selon la revendication 1 à 3, caractérisé en ce que l'on commande la marche et l'arrêt des brûleurs pour la modification des circulations des fumées dans l'enceinte du four (1) par un calculateur utilisant des algorithmes mathématiques de contrôle en fonction d'un objectif thermique défini pour le produit.

5  
10 5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'on fait contrôler par le calculateur la distribution thermique, en particulier la courbe longitudinale et/ou transversale de température du four, en fonction de la position de la charge, de ses caractéristiques et de son avancement sur la longueur du four et de l'objectif de température et de répartition de  
15 température de sortie visé pour ce produit.

6. Procédé selon la revendication 4 , caractérisé en ce que l'on fait contrôler par le calculateur la distribution thermique de température dans le four (1) en  
20 fonction d'un programme de fabrication à venir à l'enfournement, et d'un programme de laminage en sortie, pour optimiser les caractéristiques de chauffage des produits.

25 7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le réglage de la répartition de puissance injectée dans l'enceinte est réalisé de façon à privilégier la récupération d'énergie dans la zone d'entrée du four.

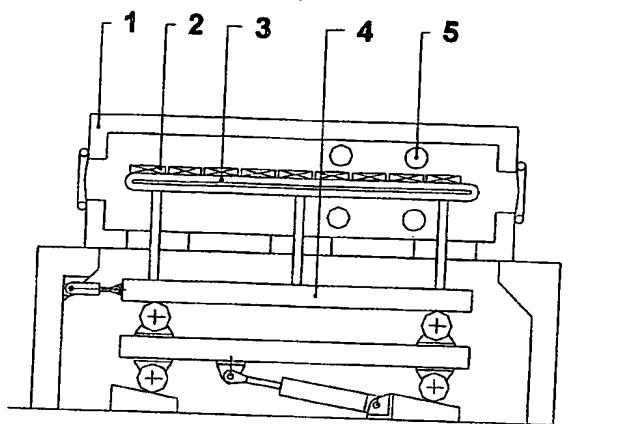
30 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes , caractérisé en ce que la répartition de puissance thermique injectée suivant la direction longitudinale et transversale du four peut être déduite de mesures opérées  
35 durant l'opération de laminage qui suit le réchauffage.

9. Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le profil thermique du four (1) et le profil thermique longitudinal du produit (2) délivré par le four sont calculés automatiquement par un calculateur utilisant des modèles mathématiques, des systèmes de logique floue ou des algorithmes de type neuro-prédictifs.
10. Four de réchauffage (1) de produits sidérurgiques (2), notamment de brames ou de billettes, équipé de brûleurs latéraux, comprenant des moyens de commande pour faire fonctionner les brûleurs latéraux en tout ou rien, et pour régler le temps de fonctionnement et d'arrêt de chaque brûleur en vue d'obtenir la température souhaitée, caractérisé en ce que les brûleurs latéraux sont des brûleurs à flamme étalée (B1- B4), que ces brûleurs sont commandés de manière à fonctionner à un régime proche du régime maximum ou au régime maximum, et suivant un ordre d'allumage propre à favoriser le brassage et la circulation des fumées afin de réduire le point chaud de la flamme et pour obtenir une meilleure homogénéité de température des parois du four et des produits.
11. Four de réchauffage de produits sidérurgiques selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comporte sur ses parois latérales au moins deux brûleurs (B1, B2) et (B3, B4) et que l'ordre d'allumage des brûleurs (B1- B4) est prévu pour favoriser le brassage et la circulation des fumées.
12. Four de réchauffage de produits sidérurgiques selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comporte sur ses parois latérales au moins deux brûleurs (B1, B2) et (B3, B4) et que l'ordre d'allumage des brûleurs (B1- B4) est prévu pour limiter les variations de pression dans

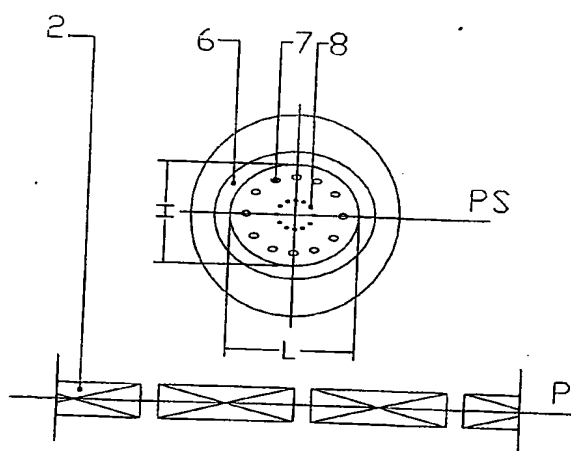
le four et dans les circuits d'alimentation en carburant et comburant des brûleurs.

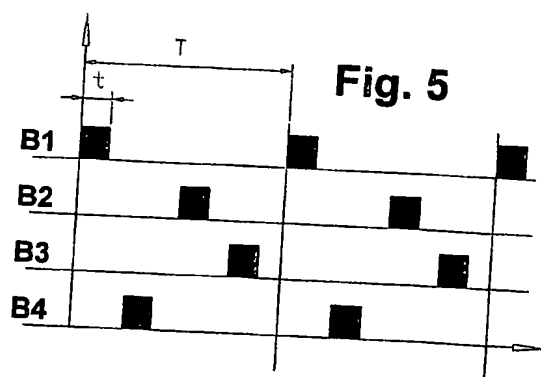
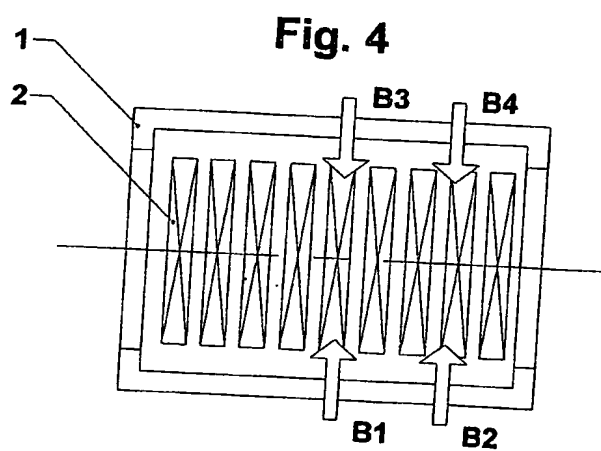
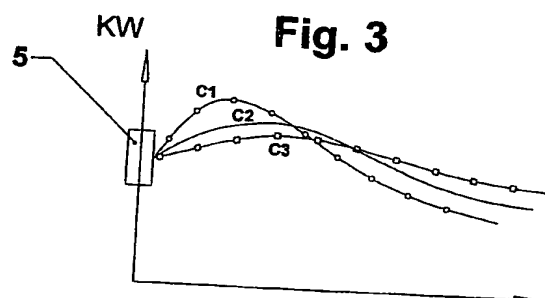
13. Four de réchauffage de produits sidérurgiques selon les revendications 10 à 12 , caractérisé en ce qu'il comporte un calculateur utilisant des algorithmes mathématiques de contrôle en fonction d'un objectif thermique sur le produit pour commander la modification des circulations des fumées dans l'enceinte dudit four.
14. Four de réchauffage de produits sidérurgiques selon la revendication 13 , caractérisé en ce qu'il comporte des capteurs pour fournir au calculateur des informations lui permettant de contrôler la distribution thermique, en particulier la courbe longitudinale et/ou transversale de température du four, en fonction de la position de la charge, de ses caractéristiques et de son avancement sur la longueur du four et de l'objectif de température et de répartition de température de sortie visé pour ce produit.
15. Four de réchauffage de produits sidérurgiques selon la revendication 13 ou 14, caractérisé en ce qu'il comporte des capteurs de mesures de températures opérées durant une opération de laminage à la suite du four, ces capteurs étant reliés au calculateur qui en déduit la répartition de puissance thermique injectée suivant la direction longitudinale et transversale du four.
16. Four de réchauffage de produits sidérurgiques selon la revendication 13, caractérisé en ce que le calculateur est programmé avec des modèles mathématiques, des systèmes de logique floue ou des algorithmes de type neuro-prédictifs pour déterminer le profil thermique du four et le profil thermique longitudinal du produit délivré par le four.

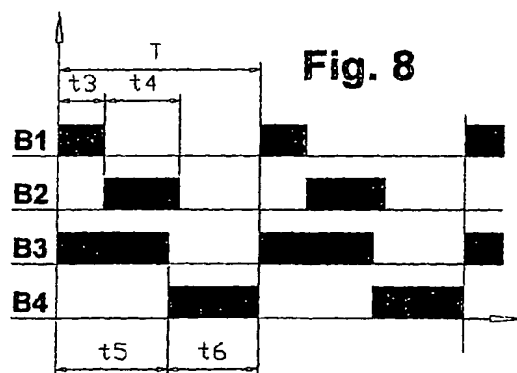
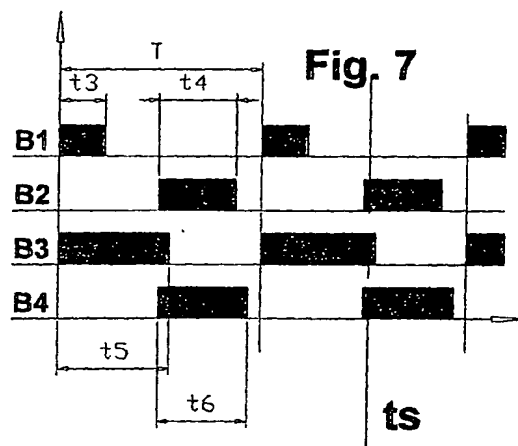
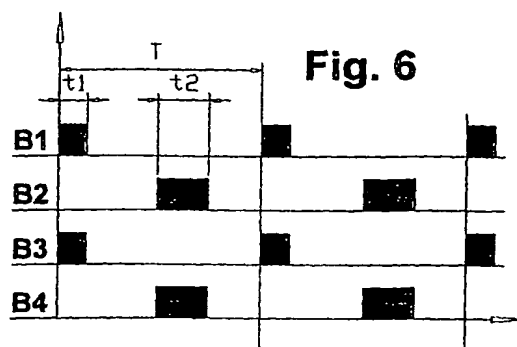
**Fig. 1**



**Fig. 2**







# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/000866

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F27B9/36

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F27B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	FR 2 794 132 A (STEIN HEURTEY) 1 December 2000 (2000-12-01) cited in the application page 2, line 14 - line 32 page 5, line 9 - page 6, line 6 page 6, line 27 - page 7, line 13 claims 1,2,7,9	1-16
Y	US 4 480 992 A (KENJI OKAMOTO) 6 November 1984 (1984-11-06) column 1, line 7 - line 10 column 1, line 60 - column 2, line 20 column 3, line 47 - column 4, line 52 claims 1-4 figures 2,3	1-16
	----- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 March 2005

Date of mailing of the international search report

08/03/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Peis, S

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/000866

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 675 325 A (YUINO TATSUYA) 4 October 1995 (1995-10-04) column 2, line 37 - line 57 column 6, line 39 - column 7, line 3 figures 1-5	1-16
Y	----- US 6 334 770 B1 (P.GIRAUD) 1 January 2002 (2002-01-01) column 1, line 6 - line 37 column 3, line 29 - line 67 claim 1 figures 5-7 & FR 2 784 449 A (STEIN HEURTEY) 14 April 2000 (2000-04-14) cited in the application	1-16
A	----- US 5 554 022 A (NABORS, JR. ET AL) 10 September 1996 (1996-09-10) column 1, line 5 - line 9 column 6, line 4 - column 7, line 25 figures 4,7-10	1,3,7,8, 10
A	----- US 5 545 031 A (MAHENDRA L.JOSHI) 13 August 1996 (1996-08-13) column 1, line 8 - line 12 column 2, line 5 - line 10 figures 1-5	1,10
A	----- US 5 639 233 A (R.E RUARK) 17 June 1997 (1997-06-17)  figures 1,6 column 3, line 58 - column 5, line 6 -----	1,2,4,5, 7,8,10, 11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Publication No  
PCT/FR2004/000866

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2794132	A	01-12-2000	FR 2794132 A1	01-12-2000
US 4480992	A	06-11-1984	JP 1515278 C	24-08-1989
			JP 59015725 A	26-01-1984
			JP 63067095 B	23-12-1988
			JP 1044766 B	29-09-1989
			JP 1568913 C	10-07-1990
			JP 58067820 A	22-04-1983
			DE 3238546 A1	23-06-1983
			FR 2519739 A1	18-07-1983
			GB 2113368 A , B	03-08-1983
EP 0675325	A	04-10-1995	JP 2677514 B2	17-11-1997
			JP 7269852 A	20-10-1995
			DE 69509964 D1	08-07-1999
			DE 69509964 T2	21-10-1999
			EP 0675325 A1	04-10-1995
			US 5630714 A	20-05-1997
US 6334770	B1	01-01-2002	FR 2784449 A1	14-04-2000
			AT 257929 T	15-01-2004
			CA 2286407 A1	13-04-2000
			CN 1250814 A , C	19-04-2000
			DE 69914153 D1	19-02-2004
			DE 69914153 T2	24-06-2004
			EP 0994302 A1	19-04-2000
			ES 2211008 T3	01-07-2004
			JP 2000121011 A	28-04-2000
FR 2784449	A	14-04-2000	FR 2784449 A1	14-04-2000
			AT 257929 T	15-01-2004
			CA 2286407 A1	13-04-2000
			CN 1250814 A , C	19-04-2000
			DE 69914153 D1	19-02-2004
			DE 69914153 T2	24-06-2004
			EP 0994302 A1	19-04-2000
			ES 2211008 T3	01-07-2004
			JP 2000121011 A	28-04-2000
			US 6334770 B1	01-01-2002
US 5554022	A	10-09-1996	NONE	
US 5545031	A	13-08-1996	AU 5019396 A	31-07-1996
			BR 9510127 A	30-12-1997
			DE 69519592 D1	11-01-2001
			EP 0800636 A1	15-10-1997
			WO 9621823 A2	18-07-1996
			US 5567141 A	22-10-1996
			US 5725367 A	10-03-1998
US 5639233	A	17-06-1997	NONE	